



JP11351936

Biblio

Page 1



## THERMAL FLOW-RATE SENSOR AND THERMAL FLOW-RATE DETECTION CIRCUIT

Patent Number: JP11351936  
Publication date: 1999-12-24  
Inventor(s): TANIMOTO KOJI; ARIYOSHI YUJI  
Applicant(s):: MITSUBISHI ELECTRIC CORP  
Requested Patent: ☐ JP11351936  
Application Number: JP19980157733 19980605  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G01F1/68 ; G01P5/12  
EC Classification:  
Equivalents:

### Abstract

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a circuit where the influence of the reduction in a detection accuracy is reduced after the aging of the resistance of a resistor affects the flow-rate detection accuracy in a thermal flow-rate detection circuit where the resistor being heated by a heater detects the degree of cooling by a fluid according to the change in the resistance of the resistor due to the temperature for detecting the flow or the flow rate of the fluid.

**SOLUTION:** Although current flowing to a heater R7 being connected to a constant-temperature control circuit 41 that is constituted so that the voltage difference between a thermally sensitive resistor R1 and a fluid temperature detection thermally sensitive resistor R6 becomes constant has been detected according to the voltage across both the ends of the heater R7 conventionally, a fixed resistor R4 is inserted in series with R7 for extracting a signal voltage V10 from both the ends of the fixed resistor R4 this time.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

- (19)【発行国】日本国特許庁（JP）  
 (12)【公報種別】公開特許公報（A）  
 (11)【公開番号】特開平11-351936  
 (43)【公開日】平成11年（1999）12月24日  
 (54)【発明の名称】熱式流量センサ及び熱式流量検出回路  
 (51)【国際特許分類第6版】

G01F 1/68

G01P 5/12

【FI】

G01F 1/68

G01P 5/12

【審査請求】未請求

【請求項の数】8

【出願形態】OL

【全頁数】12

- (21)【出願番号】特願平10-157733  
 (22)【出願日】平成10年（1998）6月5日  
 (71)【出願人】  
 【識別番号】000006013  
 【氏名又は名称】三菱電機株式会社  
 【住所又は居所】東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)【発明者】

【氏名】谷本 考司

【住所又は居所】東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(72)【発明者】

【氏名】有吉 雄二

【住所又は居所】東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(74)【代理人】

【弁理士】

【氏名又は名称】宮田 金雄（外2名）

【特許請求の範囲】

【請求項1】 流量又は流速を測定する対象である流体中に設けられ、供給される電流により発熱する発熱抵抗体、この発熱抵抗体に近接して設けた第1の感温抵抗体、前記流体の温度を検出する第2の感温抵抗体、前記第1の感温抵抗体と前記第2の感温抵抗体の温度差があらかじめ定めた一定値になるように前記発熱抵抗体への電流を制御、供給する定温度制御回路、前記発熱抵抗体への電流値をもとに前記流体の流量又は流速を算出する演算回路とを有する熱式流量検出回路において、前記発熱抵抗体に直列接続した固定抵抗器を有し、前記演算回路は前記固定抵抗器の両端電圧を用いて前記流体の流量又は速度を演算する事を特徴とした熱式流量検出回路。

【請求項2】 流量又は流速を測定する対象である流体中に設けられ、供給される電流により発熱する第1の発熱抵抗

体、この第1の発熱抵抗体に近接して設けた第1の感温抵抗体、前記流体の温度を検出する第2の感温抵抗体、前記第1の感温抵抗体と前記第2の感温抵抗体の温度差があらかじめ定めた一定値になるように前記第1の発熱抵抗体への電流を制御、供給する第1の定温度制御回路を有する熱式流量検出回路において、前記第1の発熱抵抗体より下流側に設置され、供給される電流により発熱する第2の発熱抵抗体、この第2の発熱抵抗体に近接して設けた第3の感温抵抗体、前記第2の感温抵抗体と前記第3の感温抵抗体の温度差があらかじめ定めた一定値になるように前記第2の発熱抵抗体への電流を制御、供給する第2の定温度制御回路、前記第1の発熱抵抗体の電流と前記第3の発熱抵抗体の電流との差をもとに前記流体の流量又は流速を算出する演算回路とを有する熱式流量検出回路。

【請求項3】 請求項2に記載の熱式流量検出回路の第2の感温抵抗体、第1の発熱抵抗体、第1の感温抵抗体、第2の発熱抵抗体、第3の感温抵抗体を、1枚の絶縁基板上に、かつ、前記第2の感温抵抗体は前記第1、第2の発熱抵抗体の熱の影響を受けない上流側に配置したことを特徴とする熱式流量センサ。

【請求項4】 流量又は流速を測定する対象である流体中に上流側から下流側に向って順次設けられ、供給される電流により発熱する第1、第2、第3の発熱抵抗体、前記第1、第2、第3の発熱抵抗体より上流に設置され前記流体の温度を検出する感温抵抗体、前記感温抵抗体と前記第1、第2、第3の発熱抵抗体の温度差が、それぞれあらかじめ定めた一定値になるように前記第1、第2、第3の発熱抵抗体への電流をそれぞれに制御、供給する第1、第2、第3の定温度制御回路、前記第1の発熱抵抗体の電流と前記第3の発熱抵抗体の電流との差をもとに前記流体の流量又は流速を算出する演算回路とを有する熱式流量検出回路。

【請求項5】 請求項4に記載の感温抵抗体、第1、第2、第3の発熱抵抗体を1枚の基板上に、上流側から下流側へと前記の順序で配置したことを特徴とする熱式流量センサ。

【請求項6】 流量又は流速を測定する対象である流体中に設けられ、供給される電流により発熱する発熱抵抗体、この発熱抵抗体に近接して設けた第1の感温抵抗体、前記流体の温度を検出する第2の感温抵抗体、前記発熱抵抗体と前記第2の感温抵抗体の温度差があらかじめ定めた一定値になるように前記発熱抵抗体への電流を制御、供給する定温度制御回路とを有する熱式流量検出回路において、前記発熱抵抗体の電流値が入力信号として入力され、且つ、第1の感温抵抗体の抵抗値の変化により増幅率が制御される可変増幅率増幅器を有することを特徴とする熱式流量検出回路。

【請求項7】 流量又は流速を測定する対象である流体中に設けられ、供給される電流により発熱する発熱抵抗体、この発熱抵抗体に近接して設けた第1の感温抵抗体、前記流体の温度を検出する第2の感温抵抗体、前記発熱抵抗体と前記第2の感温抵抗体の温度差があらかじめ定めた一定値になるように前記発熱抵抗体への電流を制御、供給する定温度制御回路とを有する熱式流量検出回路において、前記定温度制御回路は前記第1の感温抵抗体の抵抗値の変化による第1の感温抵抗体の電流の変動を減少させるように、前記発熱抵抗体の電流を制御するものであることを特徴とする熱式流量検出回路。

【請求項8】 感温抵抗体、発熱抵抗体はいずれもNi、PtもしくはPoly-Siの同一感温素材で構成されていることを特徴とする請求項3又は5のいずれかに記載の熱式流量センサ。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、例えば自動車エンジン制御や空調機器、プロセス装置など、気体又は液体の流量あるいは流速の計測を目的とした熱式流量センサに関し、特にセンサ回路を構成する抵抗体の抵抗値変動による流量検出値の精度低下を軽減する回路の改良に関するものである。

##### 【0002】

【従来の技術】 気体、または液体の流れの中にヒータと感温素子を配置して、熱の流れを検出することにより、気体、液体の流速（流量）を計測するものには、主として、1）傍熱型（感熱素子近傍にヒータを配置する）

## 2) 直熱型 (感熱素子自体を発熱させる)

の2つの方式がある。

【0003】1) 初めに、従来の傍熱型の例について説明する。図8は例えば特開昭63-134919号公報に示された、従来の傍熱型熱式流量センサの検出回路である。図に於いて、R1は発熱温度検出用抵抗、R6は被測定流体 (図示せず) の温度を検出する流体温度検出用抵抗である。発熱温度検出用抵抗R1、流体温度検出用抵抗R6は、共に、抵抗値が温度により変化するNi、Pt、Poly-Siなどの感温抵抗体からなり絶縁基板上に形成されている。R7は発熱抵抗体 (ヒータ) であり発熱温度検出用抵抗R1と熱的に結合するよう近接して配置されている。

【0004】発熱抵抗体R7は一般に用いられる固定抵抗器などで構成してもよいが、同じ1枚の基板上に構成するという生産方式から、発熱温度検出用抵抗R1、流体温度検出用抵抗R6と同様な感温抵抗体で構成される場合が多い。また、図中のR2、R3、R5はいずれも固定抵抗器である。この回路は固定抵抗器R2、R3、R5及び発熱温度検出用抵抗R1、流体温度検出用抵抗R6によりブリッジ回路が構成されており、ブリッジ出力をオペアンプ41に入力し、オペアンプ41の出力10から発熱抵抗体R7に加熱電流を供給している。そして、オペアンプ41は定温度制御回路40を構成しており、その入力小さくなる方向 (即ち、発熱温度検出用抵抗R1、流体温度検出用抵抗R6の温度の差が小さくなるよう) に発熱抵抗体R7を加熱する。

【0005】流体温度検出用抵抗R6、発熱抵抗体R7、発熱温度検出用抵抗R1は図9に示すように流体の流れ52の中に、上流側から順次配置され熱式流量センサ100 (以下単にセンサという) を構成している。101はセンサ100の端子である。

【0006】図8のブリッジ回路が平衡状態の時には次式が成立する。

$$R1 \cdot R2 = (R6 + R5) \cdot R3 \dots\dots (1)$$

発熱温度検出用抵抗R1が、(1) 式の値になって、ブリッジがバランスするよう発熱抵抗体R7に加熱電流が供給される。このバランス状態では発熱温度検出用抵抗R1の温度T1、及び発熱抵抗体R7の温度T7は、被測定流体の温度に対して一定値高くなるように保持される。そして、R1の0□での抵抗値をR1<sub>0</sub>、温度をT1、抵抗温度係数をα、とすれば、式(2)が成立する。一方、端子10の電圧V10は発熱抵抗体R7の両端電圧として得られ、式(3)が成立する。

【0007】

【数1】

$$R1 = R1_0 (1 + \alpha T1) \quad \text{であるから}$$

$$T1 = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{R1}{R1_0} - 1 \right) = T7 \quad \dots\dots (2)$$

$$V10 = I \cdot R7 = \sqrt{(T7 - T6)(A + BQm^n)} R7 \quad \dots\dots (3)$$

【0008】但し、Iは発熱抵抗体R7を流れる加熱電流値、T7は発熱抵抗R7の温度、T6は流体温度検出用抵抗R6の温度であり、ほぼ流体の温度と同じである。また、A、B、nは定数、Qmは流量を表す。(3) 式によつて、V10を測定することにより流量Qmを計測することが可能となる。

【0009】ところで、この種の感熱抵抗体は、同じ温度下に於ける抵抗値が長年の間に徐々に変化するいわゆる経時変化する性質がある。しかるに、流量出力信号V10と流量Qmとの関係が式(3)に示すように非線形であることから、経時変化による抵抗値の変動に対する流量出力信号の変動が非直線となる。

【0010】例えば、室温環境下で発熱温度が流体温度+200□、感温抵抗体(R1、R6)の抵抗温度係数をα=

0.3%/□、R1<sub>0</sub>が経時変化により1%小さくなったと仮定した場合、R1の抵抗値が一定になるよう、その温度が制御されているため(2)式より発熱体温度と流体温度の差、即ち、T1又はT7は約3%増大する。このことの理解を助けるため、図10に横軸に温度、縦軸に抵抗値R1をとり、0□のR1の値がR1<sub>0</sub>である場合の200□までの抵抗値変化特性線と、これより1%小さい0.99R1<sub>0</sub>である場合の抵抗値変化特性線とを示す。1%低いときには約206□(+3%)にならないければもとの200□の抵抗値R1に達しないことが簡単な計算でわかる。また、発熱抵抗体R7はこの3%の温度差変化に応じて1%増大する。したがって(3)式よりV10の変化倍率(%)を求めると $\sqrt{(100+3)(100+1)}=102\%$ となり、約2%の増加となる。この2%の増加は流量と出力の非線形な関係に依存するものの、流量換算で3~5倍に拡大されて現れる。このようなことから、例えば工業上標準的な精度である0.5%の測定精度を得ようとする、ブリッジ回路を構成する抵抗値の抵抗値変動の許容値を例えば0.1%以下におさえる必要がある。これは不可能ではないが困難な要求である。

【0011】次に発熱抵抗体R7の抵抗値が変動した場合について検討する。例えば、前記と同様な条件下で発熱抵抗体R7の0□に於ける抵抗値R7<sub>0</sub>が経時変化により1%小さくなったと仮定した場合、発熱抵抗体R7の温度はもとの場合と同じ温度になるよう電流が制御されるため、(3)式よりV10は約-0.5%の変動となる。この変動量は流量と出力の非線形性に依存するものの流量に換算すれば発熱抵抗体R7の変動が3~5倍に拡大して現れる。

【0012】2) 次に直熱型の例について説明する。図11に従来の直熱型熱式流量センサの検出回路を示す。流れの中の下流側に発熱温度検出抵抗r1、上流側に被測定流体の温度を検出する流体温度検出用抵抗r6(r6も発熱抵抗である)を設置し、固定抵抗3a、3b、R2、R4などと、オペアンプ41により定温度制御回路40を構成している。発熱抵抗r1も流体の温度に対して一定値高い温度に保持され、平衡状態において式(4)が成立する。但し、T6は発熱抵抗r6の温度、T1は下流側の抵抗r1の温度を示す。定温度回路40の上流側の出力電圧V10が出力として取出され、式(6)で表される。

【0013】

【数2】

$$r1 \left( \frac{R3b}{R3a + R3b} \right) \cdot R2 = (r6 + R5) \cdot R4 \quad \text{より}$$

$$r1 \cdot R2 = (r6 + R5) R4 \left( 1 + \frac{R3a}{R3b} \right) \cdots \cdots (4)$$

$$r1_0 \cdot \alpha \cdot T6 = r1 - r1_0$$

$$T6 = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{r1}{r1_0} - 1 \right) \cdots \cdots (5)$$

$$V10 = I \cdot R4$$

$$= \sqrt{\frac{(T1 - T6)(A + BQm^n)}{r1}} \cdots \cdots (6)$$

【0014】図11の直熱型熱式流量センサの検出回路においても前述の傍熱型と同様な回路定数公差の問題を有している。例えば、室温環境下で発熱温度が流体温度+200□、感熱抵抗体の抵抗温度係数 $\alpha=0.3\%/□$ 、下流側発熱温度検出用抵抗r1の温度0□に於ける抵抗値r1<sub>0</sub>が経時変化により1%小さくなった。と仮定した場合、r1は一定に制御されているため(2)式により発熱体温度と流体温度の差は約3%増大する。したがって(6)式よりV1

0の倍率変化を求めると $\sqrt{((100+3)/(100+0))}=1.015$ となって約+1.5%の変動となる。このV10の電圧変動による流量換算変動は、流量と出力の非線形性に依存するが、3~5倍に拡大して現れる。

【0015】次に、直熱型の変形と言える例(説明の都合上2重直熱型という)について説明する。図12は特開平8-105780号公報に示す2重直熱型の流量検出回路であり、流れに沿って上流側と下流側に2つの発熱抵抗r1、r11を配置し、各々の温度を流体温度より一定値高い温度になるように、2つの直熱型定温度制御回路を構成し、各々の定温度制御回路の出力の差から流量信号V10を得ている。流れの方向52が反対方向に変化した場合、流量信号V10はマイナス出力として現れるので逆流の検出が可能となる。

【0016】図12の検出回路においても(6)式が成立し、同様な回路公差の問題を有している。例えば、上流側発熱抵抗値r1が-1%変化したときの発熱温度の上昇は約+3%、V10において+1.5%の変動として現れるだけでなく、下流側の発熱抵抗r11にも影響し、下流側発熱抵抗r11の加熱電流の低下を招く。

【0017】つまり上流側発熱抵抗r1の抵抗値変動により発熱温度が上昇すると、下流側発熱抵抗r11の発熱温度を保持する発熱量は小さくなる。従って上流側発熱抵抗r1の加熱電流は増大し、下流側発熱抵抗r11の加熱電流は減少するため、上流側加熱電流と下流側加熱電流の加熱電流差に応じた出力変動が拡大して、前述の図13の発熱抵抗1個の場合に比べて流量換算誤差は大きくなる。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、従来の定温度制御回路からの信号V10は、抵抗値の経時変化の影響を受けやすいので、検出精度が高くないという問題があった。その影響を低減するためには、各抵抗の安定性を高くする必要があるが、発熱抵抗や発熱温度検出用抵抗は加熱電流により高温状態に保持されるため抵抗値変動が生じやすく、その安定性を得ることは容易でないという問題があった。

【0019】この発明は上記のような問題点を解消するためになされたもので、抵抗値の経時変化があっても、それが出力に大きく影響しない検出回路を提供しようとするものである。

【0020】

【課題を解決するための手段】この発明の熱式流量検出回路は、流量又は流速を測定する対象である流体中に設けられ、供給される電流により発熱する発熱抵抗体、この発熱抵抗体に近接して設けた第1の感温抵抗体、前記流体の温度を検出する第2の感温抵抗体、前記第1の感温抵抗体と前記第2の感温抵抗体の温度差があらかじめ定めた一定値になるように前記発熱抵抗体への電流を制御、供給する定温度制御回路、前記発熱抵抗体への電流値をもとに前記流体の流量又は流速を算出する演算回路とを有する熱式流量検出回路において、前記発熱抵抗体に直列接続した固定抵抗器を有し、前記演算回路は前記固定抵抗器の両端電圧を用いて前記流体の流量又は速度を演算するものである。固定抵抗の両端から信号電圧を取出すので、発熱抵抗体の温度変化の影響が小さくなる。

【0021】また、流量又は流速を測定する対象である流体中に設けられ、供給される電流により発熱する第1の発熱抵抗体、この第1の発熱抵抗体に近接して設けた第1の感温抵抗体、前記流体の温度を検出する第2の感温抵抗体、前記第1の感温抵抗体と前記第2の感温抵抗体の温度差があらかじめ定めた一定値になるように前記第1の発熱抵抗体への電流を制御、供給する第1の定温度制御回路を有する熱式流量検出回路において、前記第1の発熱抵抗体より下流側に設置され、供給される電流により発熱する第2の発熱抵抗体、この第2の発熱抵抗体に近接して設けた第3の感温抵抗体、前記第2の感温抵抗体と前記第3の感温抵抗体の温度差があらかじめ定めた一定値になるように前記第2の発熱抵抗体への電流を制御、供給する第2の定温度制御回路、前記第1の発熱抵抗体の電流と前記第3の発熱抵抗体の電流との差をもとに前記流体の流量又は流速を算出する演算回路とを有するものである。固定抵抗の両端から信号電圧を取出すので、発熱抵抗体の温度変化の影響が小さくなる。

【0022】この発明による熱式流量センサは、第2の感温抵抗体、第1の発熱抵抗体、第1の感温抵抗体、第2の発熱抵抗体、第3の感温抵抗体を、1枚の絶縁基板上に、かつ、前記第2の感温抵抗体は前記第1、第2の発熱抵抗体の

熱の影響を受けない上流側に配置したものである。

【0023】また、この発明による熱式流量検出回路は、流量又は流速を測定する対象である流体中に上流側から下流側に向って順次設けられ、供給される電流により発熱する第1、第2、第3の発熱抵抗体、これら発熱抵抗体の上流に設置され前記流体の温度を検出する感温抵抗体、前記感温抵抗体と前記第1、第2、第3の発熱抵抗体の温度差が、それぞれあらかじめ定めた一定値になるように前記第1、第2、第3の発熱抵抗体への電流をそれぞれに制御、供給する第1、第2、第3の定温度制御回路、前記第1の発熱抵抗体の電流と前記第3の発熱抵抗体の電流を固定抵抗の両端から取出すと共に、この電流の差をもとに前記流体の流量又は流速を算出する演算回路とを有するものである。固定抵抗の両端から信号電圧を取出すことにより、発熱抵抗体の温度変化の影響が小さくなる。また、中間に配置された第2の発熱抵抗体により抵抗値の変化による温度変化の影響が軽減される。

【0024】この発明による熱式流量センサは、感温抵抗体、第1、第2、第3の発熱抵抗体を1枚の基板上に、上流側から下流側へと前記の順序で配置したものである【0025】この発明による熱式流量検出回路は、流量又は流速を測定する対象である流体中に設けられ、供給される電流により発熱する発熱抵抗体、この発熱抵抗体に近接して設けた第1の感温抵抗体、前記流体の温度を検出する第2の感温抵抗体、前記発熱抵抗体と前記第2の感温抵抗体の温度差があらかじめ定めた一定値になるように前記発熱抵抗体への電流を制御、供給する第1の定温度制御回路とを有する熱式流量検出回路において、前記発熱抵抗体の電流値が入力信号として入力され、且つ、第1の感温抵抗体の抵抗値の変化により増幅率が制御される可変増幅率増幅器を有するものである。

【0026】また、流量又は流速を測定する対象である流体中に設けられ、供給される電流により発熱する発熱抵抗体、この発熱抵抗体に近接して設けた第1の感温抵抗体、前記流体の温度を検出する第2の感温抵抗体、前記発熱抵抗体と前記第2の感温抵抗体の温度差があらかじめ定めた一定値になるように前記発熱抵抗体への電流を制御、供給する第1の定温度制御回路とを有する熱式流量検出回路において、前記定温度制御回路は前記第1の感温抵抗体の抵抗値の変化による電流の変動を減少させるように制御されるものである。

【0027】また、この発明の流量センサは、発熱抵抗体、感温抵抗体の両方が共にNi、PtもしくはPoly-Siの同一感温素材によって構成されているものである。

【0028】

【発明の実施の形態】実施の形態1. 以下、本発明の実施の形態を図により説明する。図1は本発明の実施の形態1による熱式流量検出回路（傍熱型）を示すものである。図に於いて、R1は発熱温度検出用抵抗であり発熱抵抗体R7と熱的に結合されるよう近接して配置されている。R6は被測定流体の温度を検出する流体温度検出用抵抗である。発熱温度検出用抵抗R1、流体温度検出用抵抗R6は共に抵抗値が温度により変化する感温抵抗体（従来例で説明したと同様のNi、Pt、Poly-Siなど）からなり、従来例の図9のように絶縁基板上に形成されている。

【0029】発熱抵抗体R7も上記発熱温度検出用抵抗R1、流体温度検出用抵抗R6と同様な感温抵抗体から構成される。固定抵抗R2、R3、R5及び発熱温度検出用抵抗R1、流体温度検出用抵抗R6によりブリッジ回路を構成しており、ブリッジ出力をオペアンプ41に入力し、オペアンプ出力から発熱抵抗体R7に加熱電流を供給している。発熱抵抗体R7には固定抵抗R4が直列に接続されており、固定抵抗R4と発熱抵抗R7の接続点はボルテージフォロア回路を構成したオペアンプ41へ入力されており出力が流量信号V10となる。

【0030】ブリッジ回路が平衡状態の時に発熱温度検出抵抗R1の抵抗値は(1)式の値になるよう発熱抵抗R7に加熱電流が供給され、発熱温度検出用抵抗R1及び発熱抵抗R7は(2)式で示す温度に保持される。これを定温度制御回路という。流量信号V10は固定抵抗R4における電圧降下として得られ、次式が成立する。

【0031】

【数3】

$$V10 = R4 \cdot I = R4 \sqrt{\frac{(T7 - T6)(A + BQm^n)}{R7}} \dots\dots (7)$$

【0032】ただし、Iは発熱抵抗R7を流れる加熱電流、T7は発熱抵抗R7の温度、T6は被測定流体温度に近い流体温度検出用抵抗R6の温度、A、B、nは定数、Qmは流量を示す。(7)式においてV10は流量Qmの関数で与えられるので、V10を測定することにより流量検出が可能になる。図1の回路構成において、例えば、室温環境下で発熱温度が流体温度+200℃、感温抵抗体の抵抗温度係数 $\alpha = 0.3\%/^{\circ}\text{C}$ 、発熱温度検出用抵抗R1の温度0℃における抵抗値R1<sub>0</sub>が経時変化により1%小さくなった、と仮定した場合、R1は一定に制御されているため(2)式より発熱体温度と流体温度の差は従来例で説明したとおり約3%増大する。

【0033】また発熱抵抗R7はこの3%の温度差変化に応じて1%増大する。したがって(7)式より発熱温度(式の分子)の上昇分と発熱抵抗R7(式の分母)の増大分が相殺されるため、V10の倍率変動は $\sqrt{((100+3)/(100+1))} = 1.01$ となり変動は+1%と従来例(2%)に比べて小さくなる。発熱温度を決めるR1の抵抗値変動の影響は、図10に示す傍熱型定温度回路の出力変動に比べて1/2、図13に示す直熱型定温度回路の出力変動に比べて2/3に縮小される。なお発熱抵抗R7の抵抗値変動に関しては従来に比べて変動方向が反対になるだけで絶対値では同等となる。発熱温度検出用抵抗R1はこの発明に言う第1の感温抵抗体である。流体温度検出用抵抗R6はこの発明に言う第2の感温抵抗体である。ブリッジ出力からオペアンプ41を経由して発熱抵抗体R7に至る回路はこの発明に言う定温度制御回路である。

【0034】実施の形態2。図2は本発明の実施の形態2の熱式流量検出回路(傍熱型)である。図において、流れ方向52に対して上流側から流体温度検出用抵抗R6、発熱温度検出用抵抗R1、発熱抵抗R7、発熱温度検出用抵抗R11、発熱抵抗R17、がそれぞれ流れに垂直に配置されている。ただし、上記発熱温度検出用抵抗R1(R11)と発熱抵抗R7(R17)とは近接し、熱的に結合された構造となっている。固定抵抗R2、R3、R4、R5と流体温度検出用抵抗R6、発熱温度検出用抵抗R1、発熱抵抗R7、及びオペアンプ41Aで、上流側発熱抵抗R7の温度を一定制御する定温度回路(第1の定温度制御回路)を構成している。同様にして固定抵抗R2、R13、R14、R5と流体温度検出用抵抗R6、発熱温度検出用抵抗R11、発熱抵抗R17、及びオペアンプ41Bで下流側発熱抵抗R17の温度を一定制御する定温度回路(第2の定温度制御回路)を構成している。上流側発熱抵抗R7の温度及び下流側発熱抵抗R17の温度が、流体温度検出用抵抗R6の温度に比べて約100~200℃高い一定温度になるよう、上流側発熱抵抗R7と下流側発熱抵抗R17それぞれに加熱電流が供給される。上流側発熱抵抗R7と下流側発熱抵抗R17にはそれぞれ固定抵抗R4とR14が接続されており、接続点電圧は差動増幅回路42の入力に導かれている。差動増幅回路42の出力10は、上流側発熱抵抗R7の加熱電流と下流側発熱抵抗R17の加熱電流の差に比例した電圧が現れる。差動増幅回路42はこの発明に言う演算回路である。

【0035】ブリッジ回路が平衡状態の時に発熱温度検出抵抗値、発熱温度等は実施の形態1と同様な動作を示し、流量信号V10は固定抵抗R4、R14における電圧降下の差に比例した電圧として、式(8)に示すように得られる。ただし、R4=R14と仮定し、A、B、C、D、m、nはすべて定数を示す。

【0036】

【数4】

$$V10 = R4 \cdot I$$

$$= R4 \left( \sqrt{\frac{(T7 - T6)(A + BQm^n)}{R7}} - \sqrt{\frac{(T17 - T6)(C + DQm^n)}{R17}} \right) \dots\dots (8)$$



【0037】図2の回路構成において、個々の定温度回路における発熱温度検出用抵抗R1、R11の抵抗温度特性の変動による流量信号への影響は、図1に示す検出回路の場合と同等であるため、差動出力V10も図14に示す従来の逆流検出可能な熱式流量センサの直熱型定温度検出回路におけるそれに比較して小さくなる。

【0038】図3にこの発明の実施の形態2の熱式流量センサのセンサエレメント構造図を示す。図において51はシリコン基板上に酸化膜またはシリコン窒化膜等からなる絶縁膜を形成したチップ基板であり、50は裏面のシリコンをエッチングで除去して形成した薄膜ダイアフラム部を示す。52は順方向の流れ方向を示し、順方向上流側から流体温度検出用抵抗R6、発熱温度検出抵抗R1、R11が形成され、上記各々の発熱温度検出抵抗R1、R11に近接して発熱抵抗R7、R17が配置されている。いずれの抵抗体も白金、ニッケル、多結晶シリコン抵抗等、抵抗値が温度に依存する感温抵抗体から形成されている。発熱温度検出抵抗R1、R11は発熱抵抗R7、R17に比べて抵抗値が例えば10～20倍大きい値になるようパターンニングされており、発熱抵抗R7、R17のみがジュール熱により発熱する構成となっている。薄膜ダイアフラム50上に発熱抵抗R7、R17を形成した断熱構造となっているため、流体温度検出用抵抗R6は流体温度にきわめて近い温度となる。流体温度検出用抵抗R6の位置は発熱抵抗R7、R17より上流側（上流の意味は発熱抵抗の熱の影響を受けない位置という意味であり、例えば適当な距離離れた側方でもよい）に設置する。発熱抵抗R7、R17はこの発明に言う第1、第2の発熱抵抗体である。発熱温度検出用抵抗R1、R11はこの発明に言う第1、第3の感温抵抗体である。流体温度検出用抵抗R6はこの発明に言う第2の感温抵抗体である。

【0039】実施の形態3。図4にこの発明の実施の形態3に係る熱式流量検出回路図を示す。図において60a、60b、60cは、それぞれ発熱抵抗r1、r11、r21を対象とした定温度回路を示しており、発熱抵抗r1、r11は例えば流体温度に比べて約180℃、また発熱抵抗r21は流体温度に比べて200℃高い一定温度に制御されている。固定抵抗R4、R14における電圧差が差動増幅回路オペアンプ42に導かれ、オペアンプ42の出力10には、増幅され、流量に依存した流量信号が出力される。差動増幅回路オペアンプ42はこの発明に言う演算回路である。流体温度検出抵抗r6及び発熱抵抗r1、r21、r11は図5に示すように流れ52の中に順に配置されている。

【0040】例えば発熱抵抗r1の抵抗温度特性のみが経時変化により変動した場合、発熱抵抗r1に流れる加熱電流は変動するものの、図5の配列の中央に介在する発熱抵抗r21の発熱温度が変動しなければ、従来例のように下流側発熱抵抗r11の発熱特性に影響を及ぼして発熱抵抗r11の加熱電流が低下するといった現象が生じないため、加熱電流差誤差が拡大することがない。したがって従来の加熱電流差出力形態の熱式流量センサに比べて発熱抵抗値の経時変化の影響が小さくなる。

【0041】なお下流側発熱抵抗r11の抵抗温度特性が変動した場合も同様な作用により、少なくとも図14に示す従来の発熱抵抗を2個使用した流量センサに比べて影響は低減する。さらに加熱電流差を検出しているため中央に介在する発熱抵抗r21の抵抗温度特性が変動した場合の流量特性への影響は、極めて小さく発熱抵抗が1個増えることによる弊害は殆ど無い。定温度制御回路60a、60b、60cはこの発明に言う第1、第2、第3の定温度制御回路である。発熱抵抗r1、r21、r11はこの発明に言う第1、第2、第3の発熱抵抗体である。図4のr6はこの発明に言う感温抵抗体である。

【0042】実施の形態4。図6にこの発明の実施の形態4に係る熱式流量センサの直熱型定温度回路図を示す。図においてr1は発熱抵抗、r6は流体温度検出用抵抗を示し、発熱抵抗r1に流れる加熱電流に比例した電圧をオペアンプ41、抵抗R45、R46で増幅して流量信号V10を出力する構成となっている。出力電圧V10と流量Qmの関係は下式で表される。

【0043】

【数5】

$$V10 = R4 \cdot I$$

$$= R4 \left( 1 + \frac{R46}{R45} \right) \sqrt{\frac{(T1 - T6)(A + BQm^2)}{r1}} \dots\dots (9)$$

【0044】抵抗R46には固定抵抗を用い、抵抗R45は例えば白金のような抵抗値が温度に依存して直線的に変化する温度依存性抵抗を用いて、発熱抵抗r1と抵抗R45の平均温度がほぼ同一になるように発熱抵抗r1の近傍に形成されている。

【0045】図6の回路構成において、例えば、室温環境下で発熱温度が流体温度+200℃、感温抵抗体の抵抗温度係数 $\alpha = 0.3\%/\text{℃}$ 、発熱温度検出用抵抗r1の温度0℃における抵抗値r1<sub>0</sub>が経時変化により1%小さくなったと仮定した場合、発熱抵抗r1は一定であり、発熱体温度と流体温度の差は約3%増大する。また発熱抵抗r1の近傍に設けた抵抗R45はこの3%の温度差変化に応じて1%増大する。したがって(9)式より発熱温度の上昇分と抵抗R45の増大分がある程度相殺されるため、V10の変動倍率は $(100 / (100 + 1)) \sqrt{(100 + 3) / 100} = 1.005$ となって、+0.5%と従来例に比べて小さくなる。発熱抵抗r1はこの発明に言う発熱抵抗体である。抵抗R45はこの発明に言う第1の感温抵抗体である。流体温度検出用抵抗r6はこの発明に言う第2の感温抵抗体である。オペアンプ41はこの発明に言う可変増幅率増幅器である。

【0046】実施の形態5。図7にこの発明の実施の形態4に係る熱式流量センサの直熱型定温度回路図を示す。図においてr1は発熱抵抗、r6は流体温度検出用抵抗を示し、発熱抵抗r1に流れる加熱電流に比例した電圧V10から流量信号を得る構成となっている。発熱抵抗r1の抵抗値、及びV10は下式で表される。

【0047】

【数6】

$$r1 = \frac{(r6 + R5) R4}{R2} \left( 1 + \frac{R3a}{R3b} \right) \dots\dots (10)$$

$$V10 = R4 \cdot I = R4 \sqrt{\frac{(T1 - T6)(A + BQm^2)}{r1}} \dots\dots (11)$$

【0048】抵抗R3aには固定抵抗を用い、抵抗R3bは例えば白金のような抵抗値が温度に依存して直線的に変化する温度依存性抵抗を用いて、発熱抵抗r1と抵抗R3bの平均温度がほぼ同一になるように発熱抵抗の近傍に形成されている。抵抗R3a、R3bはいずれも発熱抵抗r1に比べて大きく、自己発熱は殆どない。

【0049】図7の回路構成において、例えば、室温環境下で発熱温度が流体温度+200℃、感温抵抗体の抵抗温度係数 $\alpha = 0.3\%/\text{℃}$ 、発熱温度検出用抵抗r1の温度0℃における抵抗値r1<sub>0</sub>が経時変化により1%小さくなったと仮定した場合、発熱体温度と流体温度の差は約3%増大する。また発熱抵抗r1の近傍に設けた抵抗R3bはこの3%の温度差変化に応じて1%増大する。(10)式から明らかなように抵抗R3bの増大は、発熱温度の上昇を相殺する方向に作用し、最終的に発熱抵抗r1は1%弱減少し、温度差は0.5%程度増大するため加熱電流では0.7%増大、即ち $\sqrt{(100 + 0.5) / (100 - 1)} = 1.007$ となる。この加熱電流の変動幅は従来の図11に示す同様な条件での変動幅+1.5%の半分となり、抵抗値変動の影響を半減できる。発熱抵抗r1はこの発明に言う発熱抵抗体である。抵抗R3bはこの発明に言う第1の感温抵抗体である。抵抗r6は第2の感温抵抗体である。

【0050】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、発熱抵抗の温度制御回路と発熱部を分離した傍熱型回路において加熱電流に比例した電圧を流量信号として検出する構成としたため、発熱抵抗の抵抗温度特性の変動による発熱温度変動と発熱抵抗の変動が相殺する方向に働き、従来のセンサよりも流量換算変動が小さくなる。したがって抵抗値変動に起因したセンサの経時変化が低減したり、発熱抵抗の信頼性を考慮した抵抗値公差が緩和される。

【0051】また、この発明によれば、前記検出回路に更に、発熱抵抗と発熱温度検出用抵抗、固定抵抗等から構成した定温度回路を付加することで従来のセンサよりも回路公差の影響が小さく、かつ逆流検出可能なセンサが実現できる。

【0052】また、この発明によれば、2つの発熱抵抗に介在して、第3の発熱抵抗を設けて一定温度制御することにより上流側または下流側発熱抵抗の抵抗温度特性が変動した場合でも熱的な相互干渉を小さくすることができ従来の発熱抵抗体を2つ設けたセンサに比べて流量特性への影響が低減する。したがって抵抗値変動に起因したセンサの経時変化が低減したり、発熱抵抗の信頼性を考慮した抵抗値公差が緩和される。

【0053】また、この発明によれば、発熱抵抗の加熱電流に比例した電圧をさらにゲインが発熱抵抗温度に依存した増幅回路で増幅する構成としたため発熱抵抗の抵抗温度特性の変動による発熱温度変動と発熱抵抗の変動が相殺する方向に働き、従来のセンサよりも流量換算変動が小さくなる。したがって抵抗値変動に起因したセンサの経時変化が低減したり、発熱抵抗の信頼性を考慮した抵抗値公差が緩和される。

【0054】また、この発明によれば、発熱抵抗の抵抗値を制御するブリッジ回路に抵抗値が発熱温度に応じて変化する温度依存性抵抗による構成としたため、発熱抵抗の抵抗温度特性の変動による発熱温度変動と発熱抵抗の変動が相殺する方向に働き、従来のセンサよりも流量換算変動が小さくなる。したがって抵抗値変動に起因したセンサの経時変化が低減したり、発熱抵抗の信頼性を考慮した抵抗値公差が緩和される。

【0055】また、この発明の熱式流量センサは感温抵抗体、発熱抵抗体のいずれもが同一の感温素材によって構成されているにも関わらず、その検出精度が高く、センサの製作が容易であるという効果が得られる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1による熱式流量検出回路である。

【図2】 この発明の実施の形態2による熱式流量検出回路である。

【図3】 図2の回路のセンサエレメントの構造を示す図である。

【図4】 この発明の実施の形態3の熱式流量検出回路である。

【図5】 図4の回路のセンサエレメントの構造図である。

【図6】 この発明の実施の形態4の熱式流量検出回路である。

【図7】 この発明の実施の形態5の熱式流量検出回路である。

【図8】 従来の傍熱型熱式流量検出回路の図である。

【図9】 図8の回路のセンサエレメントの構造図である。

【図10】 温度特性の説明図である。

【図11】 従来の直熱式流量検出回路図である。

【図12】 従来の他の直熱式流量検出回路図である。

#### 【符号の説明】

R1、r1 発熱温度検出用抵抗、R2～R5 固定抵抗、R6、r6 流体温度検出用抵抗、R7、r7 発熱抵抗体、V10 流量信号、R11 下流側発熱温度検出抵抗、R11～R15 固定抵抗、R17 下流側発熱抵抗、41 オペアンプ、42 差動増幅回路、50 薄肉ダイアフラム部、

図 1.

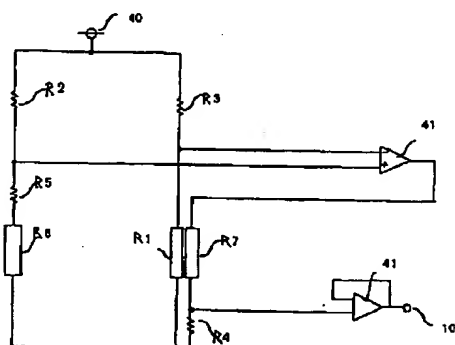
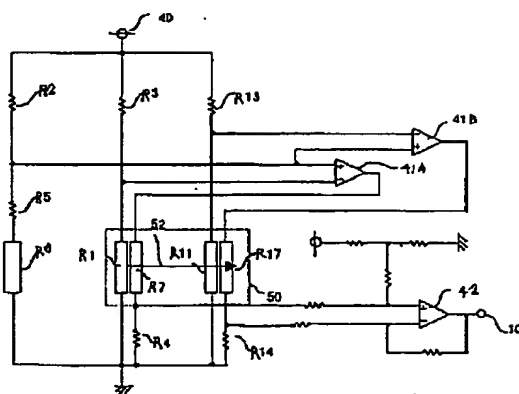


図 2



R 1 : 発熱温度検出用抵抗 (第 1 の感温抵抗体)  
 R 6 : 流体温度検出用抵抗 (第 2 の感温抵抗体)  
 R 2 ~ R 5 : 固定抵抗  
 1 0 : 信号出力  
 4 0 : 電源  
 4 1 : オペアンプ

R 1, R 1 1 : 発熱温度検出用抵抗 (第 1、第 3 の感温抵抗体)  
 R 6 : 流体温度検出用抵抗 (第 2 の感温抵抗体)  
 R 7, R 1 7 : 発熱抵抗 (第 1、第 2 の発熱抵抗体)  
 R 2 ~ R 5, R 1 3, R 1 4 : 固定抵抗  
 1 0 : 信号出力  
 4 0 : 電源  
 4 1 : オペアンプ  
 4 2 : 差動増幅器

図 3

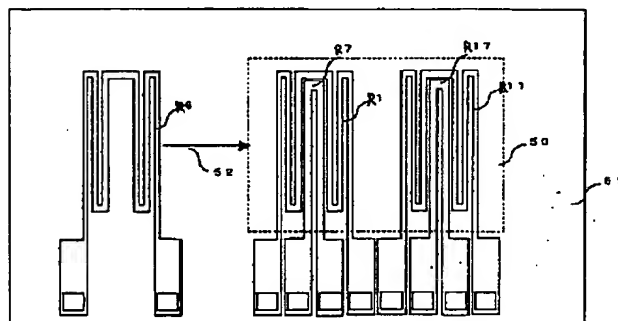


図 4

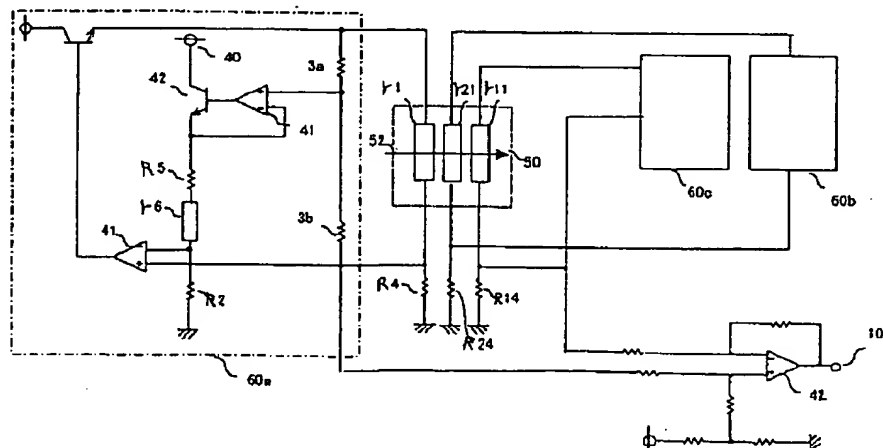


図 5

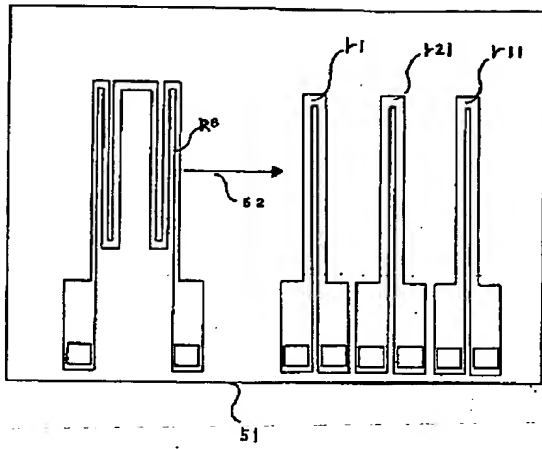


図 6

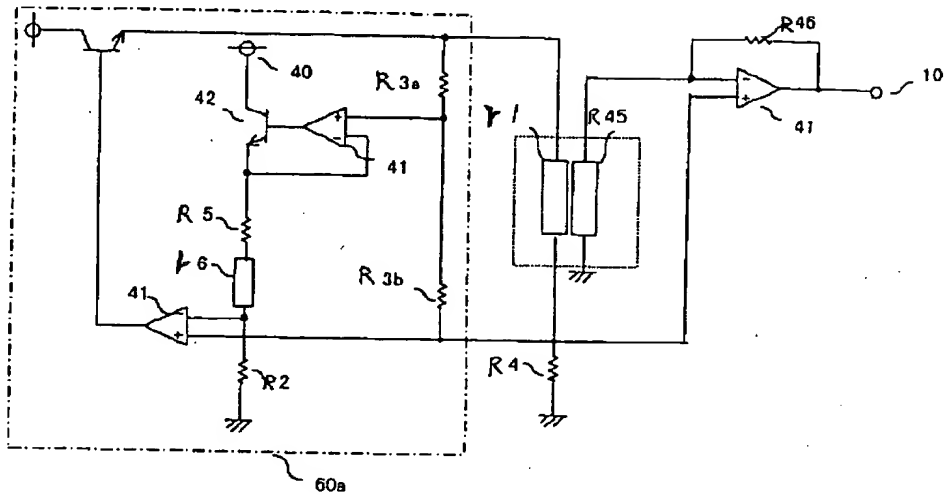


図 7

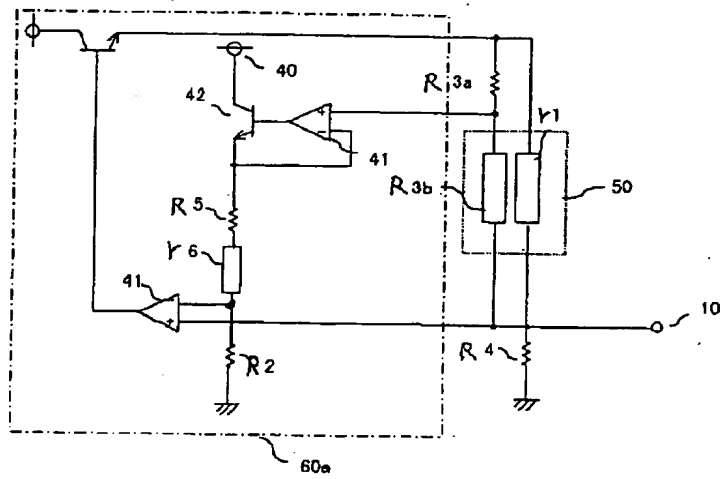


図 8

図 9

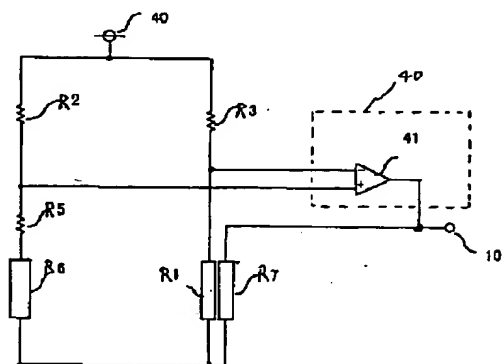


图 10

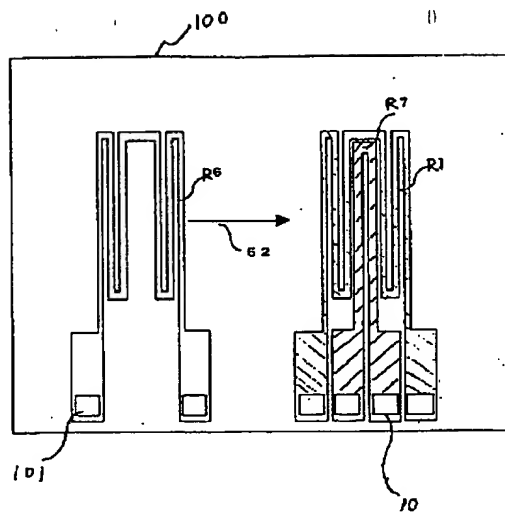


图 11

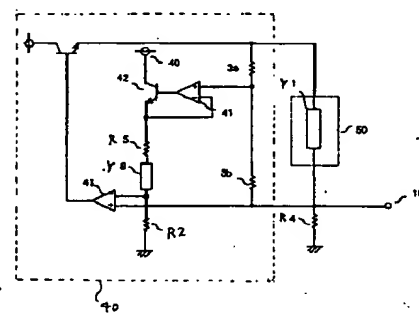
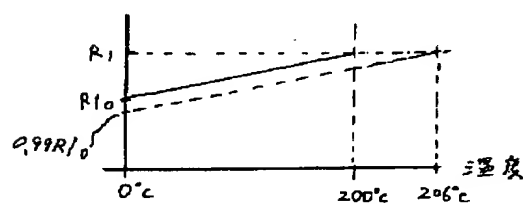


图 12

